Automatización de procedimientos en el área de materias primas de la empresa DHL, para la prevención y el control de los riesgos biomecánicos

Yaneth Matilde Valencia Ibarguen, ID 287241

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Antioquia y Chocó

Sede Bello (Antioquia)

Programa Administración en Seguridad y Salud en el Trabajo

Agosto de 2026

Automatización de procedimientos en el área de materias primas de la empresa DHL, para la prevención y el control de los riesgos biomecánicos

Yaneth Matilde Valencia Ibarguen

Proyecto Capstone presentado como requisito para optar al título de

Administración en Seguridad y Salud en el Trabajo

Asesor(a):

Adrián

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Antioquia y Chocó

Sede Bello (Antioquia)

Programa Administración en Seguridad y Salud en el Trabajo

Agosto de 2026

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres y a mi familia, quienes han sido el soporte incondicional en cada etapa de mi formación. Sus sacrificios y palabras de aliento fueron el motor que me impulsó a no rendirme ante los retos académicos. A mi hermana, por su compañía constante, y a todos aquellos que creyeron en mi capacidad para transformar el esfuerzo en realidad profesional.

Agradecimientos

Expreso mi más profundo agradecimiento a la Corporación Universitaria Minuto de Dios UNIMINUTO, por brindarme las herramientas necesarias para mi formación como profesional en Seguridad y Salud en el Trabajo. A mis docentes y tutores, por compartir su conocimiento y guiarme con paciencia a lo largo de esta investigación. Agradezco también a mis compañeros de carrera, con quienes compartí jornadas de estudio, retos y aprendizajes que resultaron fundamentales para alcanzar esta meta.

De manera especial, agradezco a la empresa DHL y a su personal del área de materias primas, por abrirme sus puertas y permitirme aplicar los conocimientos de SST en un entorno real. A cada persona que de forma directa o indirecta aportó su tiempo y disposición para la recolección de los datos biomecánicos que sustentan este trabajo.

Tabla de contenido

Dedicatoria 3
Agradecimientos 4
Lista de Figuras 7
Lista de Tablas 7
Resumen 8
Abstract 10
Introducción 12
1. Objetivos 14
1.1. Objetivo General 14
1.2. Objetivos Específicos 14
2. Marco Referencial 15
2.1. Marco Teórico 15
2.1.1. Fundamentos Epistemológicos y Evolución de la Ergonomía 15
2.1.2. Biomecánica Ocupacional y Fisiología de la Columna Vertebral 15
2.1.3. Modelos Matemáticos y Evaluación de la Carga Física 16
2.1.4. Dinámica de la Accidentalidad y Fatiga en el Sector Logístico 16
2.1.5. Automatización de Procesos: Transformación de la Ergonomía Física 16
2.1.6. Impacto Económico y Carga Financiera de la Enfermedad Laboral 17
2.2. Marco Legal 17
2.3. Estado del Arte 18
2.3.1. Tecnologías de Monitoreo y Biofeedback en Tiempo Real 18
2.3.2. Exoesqueletos y Transferencia de Riesgos 18
2.3.3. Optimización de Procesos y Factores Psicosociales 19
2.3.4. Ergonomía Participativa y Diseño de Estaciones 19
3. Descripción de la Organización 20
3.1. Filosofía Organizacional o Corporativa 20
3.1.1. Misión 20
3.1.2. Visión 20
3.1.3. Políticas Corporativas 20
3.1.4. Valores Corporativos 21
3.2. Análisis del Sector Productivo 21
3.3. Diagrama o Mapa de Procesos 22

4. Metodología 23
4.1. Evaluación Inicial: Entendimiento de las Necesidades 23
4.2. Diseño del Proyecto 24
4.3. Recolección de Datos 25
4.4. Análisis y Herramientas como se van a interpretar los resultados 27
5. Desarrollo del Proyecto Capstone 29
5.2. Marco Metodológico y Co-Creación con la Organización 31
5.2.1. Metodología de gestión de proyectos para la implementación 32
5.2.2. Diagnóstico cualitativo de madurez del proyecto 33
5.2.3. Aplicación de prácticas ágiles 34
5.2.4. Gestión del cambio mediante ADKAR 34
5.2.5. Análisis de partes interesadas 35
5.3. Fases de Desarrollo del Proyecto 36
5.4. Indicadores de seguimiento del proyecto 37
6. Resultados y Hallazgos 37
6.1. Resultados de Lista de Chequeo — Respuesta al Objetivo Específico 1 37
6.2. Hallazgos de Observación — Miembros Superiores 39
6.3. Matriz GTC 45 — Respuesta al Objetivo Específico 2 40
7. Propuesta de Automatización — Respuesta al Objetivo Específico 3 y al Objetivo General . 42
7.1. Propuesta Técnica Detallada 42
7.2. Descripción Técnica de Cada Componente 43
7.3. Comparativo Situación Actual vs. Proyectada 44
7.4. ROI y periodo de recuperación 45
8. Discusión 46
8.1. Interpretación de los Hallazgos 46
8.2. Análisis de Resultados 46
8.3. Impacto proyectado en salud integral y productividad 46
8.4. Posibles enfermedades asociadas a las exposiciones identificadas 47
8.5. Limitaciones del estudio 48
9. Conclusiones 49
10. Recomendaciones 51
10.1. Para la Empresa DHL 51
10.2. Para el Equipo de SST 52
10.3. Para UNIMINUTO — Programa de Administración en SST 52

11. Referencias Bibliográficas 53
12. Anexos 56
Anexo A. Fichas de Observación por Tarea — 3 Tareas Críticas 56
Anexo B. Fichas de Observación de Miembros Superiores 3 Tareas 61
Anexo C. Lista de Chequeo de Condiciones Biomecánicas — Diligenciada 66
Anexo D. Cronograma del Proyecto Capstone — Diagrama de Gantt 68
Anexo E. Análisis Costo-Beneficio de la Propuesta de Automatización 70

Lista de Figuras

Figura 1. Mapa de procesos de la empresa DHL, sede Poblado 24

Lista de Tablas

Tabla 1. Marco legal aplicable al proyecto 18
Tabla 2. Resultados de lista de chequeo por tarea tres tareas críticas 31
Tabla 3. Hallazgos de observación miembros superiores 33
Tabla 4. Matriz de riesgos GTC 45 peligros biomecánicos identificados 34
Tabla 5. Propuesta técnica de automatización e impacto biomecánico proyectado 36
Tabla 6. Comparativo situación actual vs. situación proyectada 38

Resumen

Los desórdenes musculo esqueléticos (DME) representan en Colombia la primera causa de enfermedad laboral calificada, y en el área de materias primas de la empresa DHL, sede Poblado (Antioquia), constituyen el 60% del ausentismo laboral. Esta realidad motivó el desarrollo del presente Proyecto Capstone, cuyo objetivo general fue diseñar una propuesta de automatización de procedimientos para la prevención y control de los riesgos biomecánicos que afectan la salud osteomuscular del personal operativo expuesto a manipulación manual de cargas, posturas forzadas y movimientos repetitivos durante el ciclo completo de trabajo.

La investigación adoptó un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo) con observación directa no participativa durante tres turnos completos, aplicación de listas de chequeo estructuradas de 20 ítems y registros audiovisuales para análisis fotogramétrico de posturas. La valoración de peligros se realizó bajo la Guía Técnica Colombiana GTC 45, construyendo una matriz de riesgos que permitió cuantificar el Nivel de Deficiencia (ND), el Nivel de Exposición (NE) y el Nivel de Riesgo (NR) de cada tarea identificada.

Los resultados evidenciaron un estado inicial de exposición biomecánica crítica. La lista de chequeo registró 7 incumplimientos críticos y las tres tareas críticas evaluadas — cargue/descargue, picking en estantería baja y paletizado manual— requirieron intervención prioritaria. En la matriz se identificaron cinco peligros biomecánicos, de los cuales cuatro presentaron la mayor criticidad del análisis y uno una prioridad inferior. Asimismo, se documentó manipulación de cargas superiores a 25 kg en el 70% de los ciclos observados. En respuesta, se formuló una propuesta integrada por bandas transportadoras de rodillos, sistema de clasificación automático (sorter), mesas ajustables y un cobot de paletizado, con una reducción

proyectada del 83% de la exposición biomecánica y un periodo de recuperación base estimado entre 1,7 y 2,8 años.

Se concluye que la automatización no representa una sustitución del trabajador sino una transformación de su rol: de operario de carga manual a supervisor de sistemas automatizados. Esta transición protege la integridad física del colaborador, garantiza el cumplimiento normativo intrínseco y consolida la Seguridad y Salud en el Trabajo como un pilar estratégico de rentabilidad y eficiencia operativa para DHL.

Palabras clave: Biomecánica, ergonomía, automatización, logística, Seguridad y Salud en el Trabajo, GTC 45, lista de chequeo, manipulación manual de cargas.

Abstract

Musculoskeletal disorders (MSDs) are the leading cause of occupational disease in Colombia, and in the raw materials area of DHL Supply Chain, Poblado (Antioquia), they account for 60% of workforce absenteeism. This reality motivated the development of this Capstone Project, whose general objective was to design a process automation proposal for the prevention and control of biomechanical risks affecting the musculoskeletal health of operational personnel exposed to manual load handling, forced postures, and repetitive movements throughout the full work cycle.

The research adopted a mixed approach qualitative and quantitative with non-participatory direct observation over three complete shifts, the application of structured 20-item checklists, and audiovisual records for photogrammetric posture analysis. Hazard assessment was conducted under the Colombian Technical Guide GTC 45, building a risk matrix that quantified the Deficiency Level (ND), Exposure Level (NE), and Risk Level (NR) for each identified task.

Results revealed a critical initial biomechanical-exposure condition. The checklist identified seven critical non-compliances, while the three critical tasks assessed—loading/unloading, low-shelf picking, and manual palletizing—required priority intervention. Five biomechanical hazards were identified in the project matrix; four showed the highest criticality and one had a lower intervention priority. Manual handling above 25 kg was documented in 70% of observed cycles. An integrated automation proposal was therefore developed, including roller conveyors, an automatic sorting system, height-adjustable workstations, and a collaborative palletizing cobot. The proposal projects an 83% reduction in biomechanical exposure and a base payback period of approximately 1.7 to 2.8 years.

It is concluded that automation does not represent a substitution of workers but a transformation of their role: from manual load operator to automated systems supervisor. This transition protects the worker's physical integrity, ensures intrinsic regulatory compliance, and consolidates Occupational Health and Safety as a strategic pillar of profitability and operational efficiency for DHL.

Keywords: Biomechanics, ergonomics, automation, logistics, Occupational Health and Safety, GTC 45, checklist, manual load handling.

Introducción

En el panorama de la industria globalizada, la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) ha trascendido el cumplimiento normativo para consolidarse como un pilar estratégico de la eficiencia operativa. Dentro de las disciplinas que componen la SST, la ergonomía y el análisis de los riesgos biomecánicos ocupan un lugar crítico, especialmente en sectores donde el factor humano es el motor principal de la actividad. El presente documento aborda la problemática de los trastornos musculo esqueléticos (TME) derivados de las operaciones de cargue, descargue, clasificación y paletizado en el área de materias primas de la empresa DHL, sede Poblado (Antioquia), donde la interacción entre el trabajador y la carga física alcanza sus niveles más exigentes.

Diversas investigaciones científicas de la última década coinciden en que los riesgos biomecánicos se manifiestan con mayor severidad en actividades operativas de logística. Se observa un patrón común: la prevalencia de lesiones en la zona lumbar y miembros superiores en personal de centros de distribución. En Colombia, los DME representan la primera causa de enfermedad laboral calificada, evidenciando la urgencia de intervenciones técnicas basadas en evidencia. En el área de materias primas de DHL sede Poblado, el 60% del ausentismo laboral corresponde a diagnósticos de DME, cifra que valida la pertinencia de este estudio.

La justificación de esta investigación radica en que la intervención basada en datos biomecánicos precisos permite proteger la salud del trabajador y, simultáneamente, optimizar la productividad al reducir tiempos de baja laboral y costos asociados a la enfermedad laboral, que según la OIT pueden ser de 4 a 10 veces superiores a los directos. La lista de chequeo estructurada de 20 ítems fue seleccionada como instrumento principal de recolección de datos por ser el instrumento compatible con el rol del estudiante en práctica supervisada, en

concordancia con los lineamientos institucionales que reservan la aplicación de métodos ergonómicos especializados a terapeutas certificados habilitados.

El documento se estructura en doce capítulos: (1) Objetivos, (2) Marco Referencial, (3) Descripción de la Organización, (4) Metodología, (5) Desarrollo del Proyecto Capstone, (6) Resultados y Hallazgos, (7) Propuesta de Automatización, (8) Discusión, (9) Conclusiones, (10) Recomendaciones, (11) Referencias Bibliográficas y (12) Anexos. Cada capítulo articula una línea de argumentación que va del diagnóstico a la propuesta de solución técnica, respondiendo de forma explícita a cada objetivo específico.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Diseñar una propuesta de automatización en procedimientos en el área de materias primas de la empresa DHL, para la prevención y control de los riesgos biomecánicos

1.2. Objetivos Específicos

Determinar el estado actual de los procedimientos que se realizan en el área de materias primas de la empresa DHL.

Establecer relaciones entre los procedimientos actuales con los diagnósticos asociados al riesgo biomecánico.

Evaluar alternativas de solución para la prevención y control de los riesgos biomecánicos asociados a las actividades que se realizan en el área de materias primas de la empresa DHL.

2. Marco Referencial

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Fundamentos Epistemológicos y Evolución de la Ergonomía

El marco teórico se cimenta sobre las bases de la Ergonomía Física y la Higiene Industrial. En este contexto, el riesgo biomecánico se aleja de la concepción del accidente fortuito para ser comprendido como una interacción cuantificable y predecible entre las exigencias físicas del entorno laboral y la capacidad fisiológica del trabajador. Históricamente, el término ergonomía fue formalizado por Wojciech Jastrzebowski en 1857, quien la definió como la ciencia del trabajo basada en las leyes de la naturaleza. K.F.H. Murrell (1965) institucionalizó la disciplina científicamente al centrar el estudio en la medición de las capacidades humanas frente a las demandas industriales, permitiendo transitar de una ergonomía de corrección a una ergonomía de diseño que integra la prevención desde la concepción misma de los sistemas productivos.

2.1.2. Biomecánica Ocupacional y Fisiología de la Columna Vertebral

La Biomecánica Ocupacional aplica las leyes de la física mecánica a las estructuras biológicas del trabajador. Chaffin y Andersson (1991) centraron el análisis en las fuerzas internas compresión, tensión y cizalladura que actúan sobre la columna vertebral durante la manipulación manual de cargas (MMC). Específicamente, el segmento móvil de Junghans dos vértebras adyacentes y el disco intervertebral es el eje de las mayores patologías de origen laboral en logística. Kapandji (2006) demuestra que la flexión del tronco desplaza el núcleo pulposo hacia atrás; si este movimiento es repetitivo o con carga excesiva, el anillo fibroso se fisura y deriva en hernias discales.

2.1.3. Modelos Matemáticos y Evaluación de la Carga Física

En Colombia, la cuantificación del riesgo biomecánico se fundamenta en los límites de la Resolución 2400 de 1979 (25 kg hombres, 12,5 kg mujeres) y la GTC 45, que traduce la observación del puesto en un nivel de riesgo (I al IV). El método RULA (McAtamney y Corlett, 1993) evalúa miembros superiores analizando la carga muscular en posturas forzadas. El método REBA (Hignett y McAtamney, 2000) evalúa el cuerpo completo definiendo niveles de acción del 0 (inapreciable) al 4 (actuación inmediata). La Ecuación de NIOSH (Waters et al., 1993) introduce el Índice de Levantamiento como referente internacional complementario.

2.1.4. Dinámica de la Accidentalidad y Fatiga en el Sector Logístico

La fatiga muscular reduce la velocidad de conducción nerviosa y altera la propiocepción, derivando en movimientos descoordinados y giros bruscos asimétricos (Grandjean, 1988). El 70% de los accidentes por sobreesfuerzo ocurren en la segunda mitad del turno. El evento agudo ocurre frecuentemente durante el arranque del levantamiento, cuando la fuerza dinámica puede duplicar la estática, provocando desgarros musculares o rupturas del anillo fibroso.

2.1.5. Automatización de Procesos: Transformación de la Ergonomía Física

La automatización representa el tránsito a una ergonomía de sistemas. Al implementar tecnologías que asumen la MMC, se elimina la exposición a las variables críticas de la GTC 45: transporte de pesos excesivos, ciclos repetitivos y posturas forzadas. DHL ha integrado robots móviles autónomos (LocusBots); Amazon Robotics, estanterías que viajan hacia el trabajador; FedEx y UPS, sorters automáticos y cobots de paletizado, reportando reducciones de hasta el 45% en incidencia de lumbalgias. Estas referencias son el fundamento empírico que valida la propuesta del presente proyecto.

2.1.6. Impacto Económico y Carga Financiera de la Enfermedad Laboral

Los DME generan costos directos (incapacidades, indemnizaciones, recargos ARL) e indirectos que según la OIT pueden ser 4 a 10 veces superiores: pérdida de productividad, contratación de reemplazos y cuellos de botella en la cadena de suministro. El fenómeno del preceptismo trabajador que asiste con capacidad física reducida incrementa el riesgo de errores operativos. El análisis financiero detallado se presenta en el Anexo E.

2.2. Marco Legal

La siguiente tabla presenta la normatividad aplicable:

Tabla 1. Marco legal aplicable al proyecto

Normativa	Ámbito	Descripción y Aplicación al Proyecto
Convenio 127 OIT	Internacional	No se debe exigir ni permitir el transporte de carga cuyo peso pueda comprometer la salud o seguridad del trabajador. Referente internacional del proyecto.
Ley 1562 de 2012	Nacional	Sistema de Riesgos Laborales. Obliga a implementar el SG-SST y define la enfermedad laboral como aquella contraída por exposición a factores de riesgo, incluido el riesgo biomecánico.
Decreto 1072 de 2015	Nacional	Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo. Exige identificar peligros, evaluar y valorar riesgos, e implementar controles de ingeniería para peligros biomecánicos.
Decreto 1477 de 2014	Nacional	Tabla de Enfermedades Laborales. Clasifica los TME derivados de carga física: síndrome del túnel carpiano, epicondilitis y hernias discales vinculados a MMC y movimientos repetitivos.

Normativa	Ámbito	Descripción y Aplicación al Proyecto
Resolución 2400 de 1979	Nacional	Estatuto de Seguridad Industrial. Arts. 388–397: límites de peso para levantamiento manual: 25 kg (hombres) y 12,5 kg (mujeres). Norma base del diagnóstico de incumplimiento.
Resolución 0312 de 2019	Nacional	Estándares Mínimos SG-SST. Exige programas de promoción y prevención para riesgos prioritarios, incluidos los biomecánicos identificados en la matriz GTC 45.
GTC 45 (2012)	Técnica	Guía para identificación de peligros y valoración de riesgos. Clasifica peligros biomecánicos en posturas, esfuerzo, movimientos repetitivos y MMC. Instrumento central de este proyecto.
GTC 290 / ISO 11228-1	Técnica	Norma para Manipulación Manual de Cargas. Calcula la seguridad del levantamiento evaluando masa acumulada por turno y distancias de transporte.
NTC 5693-1, 2 y 3	Técnica	Ergonomía: Parte 1 (levantamiento y transporte), Parte 2 (empuje y tracción), Parte 3 (cargas livianas alta frecuencia).

Fuente: Elaboración propia con base en la normatividad colombiana e internacional vigente.

2.3. Estado del Arte

2.3.1. Tecnologías de Monitoreo y Biofeedback en Tiempo Real

Chen et al. (2022) y Wang & Liu (2023) destacan la integración de sensores inerciales y visión artificial, reduciendo el margen de error en captura de posturas del 25% a menos del 5%. Vignais et al. (2017) demostraron que el biofeedback mediante sensores vibratorios logra reducir el tiempo de exposición a riesgos en un 47%, superando la capacitación teórica aislada.

2.3.2. Exoesqueletos y Transferencia de Riesgos

Zhang et al. (2021), Müller (2024) y Theurel & Desbrosses (2019) coinciden en que los exoesqueletos pasivos reducen la fatiga en músculos erectores espinales entre 10% y 40%. Sin embargo, Brown & Smith (2022) advierten sobre la transferencia del riesgo: el alivio lumbar puede generar sobrecarga en rodillas, lo que exige implementación cautelosa y siempre complementaria a controles de ingeniería estructurales.

2.3.3. Optimización de Procesos y Factores Psicosociales

Botti et al. (2020) proponen un modelo bi-objetivo que equilibra productividad con gasto energético; rediseñar rutas de picking por fatiga reduce el cansancio muscular en un 22% sin penalizar tiempos. Pérez-Gómez (2020) señala que en el contexto latinoamericano el estrés por metas incrementa la tensión muscular basal, amplificando el daño biomecánico incluso ante cargas idénticas.

2.3.4. Ergonomía Participativa y Diseño de Estaciones

Nascimento & Bittar (2021) vinculan estaciones no ajustables con 78% de prevalencia en dolor crónico de cuello y hombros. Las estaciones ajustables reducen el reporte de dolor en un 35% en seis meses, confirmando que el diseño ergonómico del puesto es de alto impacto y costo relativo moderado.

3. Descripción de la Organización

3.1. Filosofía Organizacional o Corporativa

La filosofía de DHL (Dalsey, Hillblom y Lynn), parte de DHL Group, integra la seguridad del capital humano como activo diferenciador en la cadena de suministro global. La información institucional fue tomada del sitio web oficial de la organización (www.dhl.com).

3.1.1. Misión

"Conectar a las personas y mejorar sus vidas"

Esta misión trasciende el transporte de mercancías para impactar positivamente a las comunidades. En el contexto de este proyecto, es el sustento filosófico de la política Zero Harm: proteger la integridad física de los colaboradores como forma concreta de mejorar sus vidas.

3.1.2. Visión

"Ser la empresa logística para el mundo"

Esta visión guía todas las decisiones estratégicas de DHL, incluyendo la inversión en automatización y en el bienestar del talento humano como factores de competitividad global.

3.1.3. Políticas Corporativas

Zero Harm (SST): Busca eliminar accidentes laborales mediante prevención proactiva. Es el pilar que justifica el presente proyecto.

GoGreen (Sostenibilidad): Reducción de emisiones y optimización de rutas. La automatización propuesta contribuye también a esta política.

Código de Conducta: Respeto irrestricto a derechos humanos y estándares laborales internacionales.

3.1.4. Valores Corporativos

- Excelencia: Hacer las cosas bien a la primera, garantizando calidad y seguridad en cada operación.
- Pasión: Energía positiva en cada entrega, comprometiendo a los colaboradores con los resultados colectivos.
- Derecho a Ser: Respeto por la diversidad y la integridad física de cada colaborador, base de la política Zero Harm.
- Espíritu de Can-Do: Actitud proactiva para resolver problemas complejos, incluidos los desafíos ergonómicos del área operativa.

3.2. Análisis del Sector Productivo

El sector logístico, donde DHL lidera con presencia en más de 220 países, representa cerca del 10% del PIB global. En Colombia, el auge del e-commerce con crecimiento superior al 30% entre 2022 y 2024 según el Ministerio de Comercio ha multiplicado los volúmenes de paquetería y presionado los centros de distribución hacia ritmos de procesamiento más intensos. La sede de DHL en Poblado (Antioquia) es un nodo crítico de la cadena de abastecimiento regional. El sector enfrenta la paradoja de que la demanda de velocidad operativa aumenta mientras la capacidad fisiológica del operario es constante y susceptible al desgaste acumulativo, brecha que la automatización resuelve de forma estructural.

3.3. Diagrama o Mapa de Procesos

El mapa de procesos de DHL sede Poblado estructura la cadena de valor en tres niveles: procesos estratégicos (Calidad y Mejoramiento, y Direccionamiento Estratégico), procesos operativos (Centro de Distribución y Transporte Nacional) y procesos de apoyo (Seguridad Patrimonial, Legal, RRHH, Gestión de Proveedores, Tecnología y HSE). La organización recibe los requerimientos de clientes y partes interesadas, los procesa a través de la cadena de valor y genera satisfacción como resultado final. El área de materias primas objeto de este estudio se ubica en el nivel operativo, específicamente en el subproceso de Centro de Distribución, donde la intensidad de la manipulación manual de cargas es máxima.

Figura 1. Mapa de procesos de la empresa DHL, sede Poblado



Fuente: Derechos propios de la empresa DHL Colombia.

4. Metodología

4.1. Evaluación Inicial: Entendimiento de las Necesidades

El diagnóstico inicial responde a la necesidad imperativa de articular la gestión del riesgo biomecánico con la productividad operativa y el marco normativo colombiano. La manipulación manual de cargas y las exigencias posturales en procesos logísticos representan una de las principales fuentes de morbilidad laboral.

Las patologías musculo esqueléticas generan un impacto directo en la continuidad del negocio mediante el incremento de tasas de ausentismo, el pago de incapacidades y la rotación de personal. Identificar la causa raíz en las tareas críticas permite diseñar controles ergonómicos efectivos que mitigan el desgaste físico de los trabajadores en los tres turnos operativos (mañana, tarde y noche) y optimizan la eficiencia operativa.

Este estudio se realiza mediante un proceso estructurado de levantamiento de información en el área de materias primas de DHL sede Poblado, durante los meses de marzo y abril de 2026. En primer lugar, se revisaron los registros históricos de accidentalidad, incapacidades y ausentismo correspondientes al período 2024–2026, facilitados por el área de Seguridad y Salud en el Trabajo de la empresa, se realizó revisión documental con el fin de identificar que las patologías musculo esqueléticas y ausentismo laboral del personal del área, en segundo lugar, se realizaron visitas de reconocimiento a los tres turnos operativos (mañana, tarde y noche), en las cuales se sostuvieron conversaciones directas con el personal operativo para comprender el ciclo de trabajo, las tareas que realizan cotidianamente, los pesos que manipulan y las posturas que adoptan con mayor frecuencia. Estas interacciones no buscaron modificar el comportamiento de los trabajadores, sino entender cómo ejecutan cada actividad en condiciones

reales de operación. En tercer lugar, se consultó al equipo de SST de DHL para alinear los hallazgos preliminares con los reportes médicos y los programas de vigilancia epidemiológica osteomuscular existentes. Esta fase de diagnóstico delimitó las tres tareas críticas del proyecto y permitió definir el alcance y los instrumentos de medición más pertinentes para la etapa de recolección de datos.

4.2. Diseño del Proyecto

El diseño de este proyecto se desarrolló bajo la metodología Capstone con el propósito de transformar el conocimiento acumulado en una propuesta de valor tangible, integrando transversalmente competencias técnicas y gerenciales desde un enfoque mixto de investigación que combina estrategias cualitativas y cuantitativas. De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014), el enfoque mixto permite obtener una visión más completa y profunda del fenómeno estudiado al integrar datos numéricos con descripciones contextuales, lo cual resulta especialmente adecuado para el estudio del riesgo biomecánico en entornos laborales reales. Asimismo, Creswell y Plano Clark (2018) refuerzan que la triangulación metodológica entendida como la combinación de métodos, fuentes y herramientas de análisis incrementa la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos. El proyecto se diseñó y ejecuto en las siguientes fases:

1. Fase de diagnóstico: Constituye el fundamento técnico y metodológico del presente proyecto, el cual orienta la línea base del objeto de estudio mediante la identificación precisa de las condiciones actuales, las brechas y necesidades prioritarias. Su desarrollo permite fundamentar con evidencia empírica la existencia del problema, identificar sus causas raíz y delimitar el alcance de la propuesta, garantizando que el diseño de las soluciones responda de manera objetiva a la realidad del contexto y

proporcione indicaciones necesarias para evaluar posteriormente el impacto de la intervención.

2. Fase de recolección y procesamiento de datos: Es la etapa operativa que da el sustento al proyecto orientada a capturar, sistematizar y transformar la información del objeto del estudio en hallazgos significativos, mediante la aplicación de herramienta de toma de datos y el ordenamiento analítico de los mismos, esta fase me permite estructurar la evidencia objetiva y confiable para caracterizar la situación actual, validar las variables de análisis y proporcionar la base técnica sobre la cual se fundamentan las conclusiones del diagnóstico y la formulación de la propuesta.

3. Fase de formulación de propuesta: Representa la etapa propositiva y creativa del proyecto, en la cual se diseña la solución técnica y metodológica destinada a resolver la problemática identificada durante el diagnóstico. En esta fase se estructuran los objetivos, estrategias, recursos y planes específicos que garantizan la facilidad, sostenibilidad de la propuesta del proyecto.

4.3. Recolección de Datos

La recolección de datos se desarrolló y ejecutó mediante observación directa durante tres turnos completos (mañana, tarde y noche). Donde en cada turno se acompaña al personal operativo en sus actividades cotidianas, lo que permitió comprender cómo ejecutan cada tarea, qué posturas adoptan, qué pesos manipulan y la frecuencia de sus movimientos. Se realizaron conversaciones con los trabajadores en las que describieron verbalmente cómo realizan sus actividades, lo cual fue fundamental para complementar la información visual obtenida.

Para la aplicación de la Matriz GTC 45, se interactuó directamente con los operarios, quienes explicaron paso a paso cómo ejecutan las tareas de cargué, descargue, picking y paletizado, lo que permitió identificar con precisión el Nivel de Deficiencia (ND), el Nivel de Exposición (NE) y el Nivel de Riesgo (NR) de cada peligro biomecánico.

Los instrumentos que aplicados se detallan a continuación:

- Listas de Chequeo Estructuradas: Se diseñó un instrumento de verificación que registró ciclos de trabajo, pesos manejados, frecuencias de levantamiento y condiciones del entorno. Diligenciando este instrumento durante la observación directa en cada turno, tomando como referencia los parámetros establecidos por la Resolución 2400 de 1979 y la GTC 45 (Ver Anexo C).
- Registros Audiovisuales: Se realizaron grabaciones de video y captura fotográfica de las posturas adoptadas durante la ejecución de cada tarea crítica, datos que sirvieron como insumo para la valoración descriptiva de los factores de riesgo biomecánico por tarea.
- Fichas de Observación por Tarea: Se realiza observación a ocho (8) trabajadores y registrando descriptivamente las condiciones de trabajo. Por cada tarea se observó entre uno y dos operarios del turno de mayor demanda, consignando las posturas adoptadas, pesos manipulados, frecuencia de ciclos, tipo de agarre y condiciones del entorno conforme a los criterios de la GTC 45 y la Resolución 2400 de 1979. Esta información alimentó directamente la Lista de Chequeo y la Matriz GTC 45 (Ver Anexo A). Las fichas organizaron la observación por segmentos corporales y emplearon una estructura descriptiva inspirada en la segmentación postural de métodos como REBA; sin

embargo, no constituyen una aplicación formal ni una puntuación REBA. La valoración principal del proyecto se realizó con la lista de chequeo y la GTC 45 dentro del alcance académico establecido.

- Fichas de Observación de Miembros Superiores: Se realizó observación focalizada en la región de brazos, antebrazos, muñecas, cuello y tronco para tres tareas de mayor demanda: clasificación manual con torsión de tronco, empuje de pallets con brazos extendidos y etiquetado repetitivo. Donde se registraron descriptivamente las posiciones articulares observadas, la frecuencia de los movimientos y los tiempos de exposición sostenida, conforme a los criterios de identificación de peligros biomecánicos de la GTC 45 (Ver Anexo B).

- Matriz GTC 45: La aplicación de esta herramienta se realizó en dos etapas. En la primera, se interactuó directamente con los trabajadores para que describieran cómo realizan cada actividad, identificando los peligros biomecánicos presentes (manipulación manual de cargas, posturas forzadas, movimientos repetitivos). En la segunda se valoraron cuantitativamente el Nivel de Deficiencia (ND), el Nivel de Exposición (NE) y el Nivel de Riesgo (NR) conforme a los parámetros del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC, 2012), construyendo la matriz de riesgos final (Ver Tabla 4).

4.4. Análisis y Herramientas como se van a interpretar los resultados

GTC 45 de 2012.

Para la interpretación e integración de los resultados, se realizaron y articularon las siguientes herramientas metodológicas y marcos conceptuales:

GTC 45 de 2012: La guía se utilizó como referente para la identificación y priorización de peligros. Conforme a su estructura, el Nivel de Probabilidad se obtiene mediante NP = ND × NE, donde ND es el Nivel de Deficiencia y NE el Nivel de Exposición; posteriormente, el Nivel de Riesgo se determina mediante NR = NP × NC, siendo NC el Nivel de Consecuencia (ICONTEC, 2012). Esta precisión metodológica permite diferenciar probabilidad y riesgo y evita interpretar ND × NE como el nivel de riesgo final.

Ciclo PHVA: Garantiza que la propuesta sea sistémica y alineada con los estándares del SG-SST establecidos en la Resolución 0312 de 2019. El ciclo PHVA (Planear–Hacer–Verificar–Actuar), fundamentado por Deming (1986) y adoptado por el Decreto 1072 de 2015 como eje del SG-SST colombiano, estructuró la lógica de la intervención:

Planear: Diagnóstico inicial y diseño de instrumentos de recolección.

Hacer: Recolección de datos en campo y análisis descriptivo.

Verificar: Procesamiento e interpretación de los resultados de la Lista de Chequeo y la Matriz GTC 45.

Actuar: Formulación de la propuesta de automatización con base en los hallazgos.

Jerarquía de Controles: Se justifica técnicamente la sustitución de tareas manuales por sistemas automáticos, garantizando que la Eliminación y el Control de Ingeniería prevalezcan sobre los Controles Administrativos y los Equipos de Protección Personal (EPP). La jerarquía de controles, establecida en el Decreto 1072 de 2015 y fundamentada en los principios del National

Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) y la norma ISO 45001, ordena las intervenciones de mayor a menor efectividad:

1. Eliminación del peligro
2. Sustitución
3. Controles de ingeniería
4. Controles administrativos
5. Equipos de protección personal (EPP)

En el contexto de este proyecto, la automatización representa la aplicación del nivel de control más efectivo posible, la eliminación de la exposición del trabajador a las cargas críticas mediante sistemas que asumen la tarea mecánicamente, garantizando el cumplimiento intrínseco y permanente de la Resolución 2400 de 1979.

Fundamentación técnica y teórica de la metodología: Lista de Chequeo + GTC 45: La decisión de articular la lista de chequeo estructurada con la norma GTC 45 encuentra sustento técnico en Hernández Restrepo y Zúñiga Cardona (2023), quienes confirman que la GTC 45 es el instrumento de referencia nacional para la identificación y priorización de peligros biomecánicos. Asimismo, Ander-Egg (2003) fundamenta el uso de listas de verificación y la observación directa como estrategias centrales de investigación social aplicada. La convergencia de estos referentes valida que la metodología adoptada es pertinente, rigurosa y plenamente ajustada al alcance del proyecto Capstone.

5. Desarrollo del Proyecto Capstone

El diagnóstico inicial fue realizado durante los meses de marzo y abril de 2026 en el área de materias primas de la empresa DHL sede Poblado. Donde se desarrolla el proceso mediante levantamiento estructurado de información y la revisión sistemática de los registros históricos de accidentalidad, incapacidades y ausentismo del período 2024–2026, facilitados por el área de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) de la empresa.

A través de la revisión documental y las visitas de reconocimiento en los tres turnos operativos (mañana, tarde y noche), se identifica una alta prevalencia de patologías musculo esqueléticas y ausentismo laboral asociados a la exposición a peligros biomecánicos en tres tareas críticas:

- Cargue y descargue de vehículos: Ejecución de 200 a 350 levantamientos por turno con cargas entre 30 y 40 kg, sobrepasando el límite máximo legal de 25 kg para hombres establecido en la Resolución 2400 de 1979. La tarea exige flexión de tronco y rotación simultánea al depositar la carga en los vehículos. La acumulación de ciclos a lo largo de la jornada genera fatiga muscular progresiva, reduciendo la capacidad física del trabajador (Grandjean, 1988).
- Picking en estantería baja (<50 cm): Mantenimiento de postura de flexión profunda de rodillas y tronco de forma continua durante 2 a 3 minutos, con una frecuencia de 4 a 6 ciclos/minuto. La falta de pausas de recuperación genera compresión articular y desplazamiento posterior del núcleo pulposo, incrementando el riesgo de lesiones discales (Kapandji, 2006).

- Paletizado manual por encima de 1,5 m: Extensión máxima de brazos para manipular cargas de 15 a 25 kg por encima del nivel de la cabeza (80 a 120 apilamientos/turno). Esta acción genera compresión cervical y lumbar simultánea, superando los límites de tolerancia tisular (Chaffin y Andersson, 1991).

5.2. Marco Metodológico y Co-Creación con la Organización

El desarrollo del proyecto se sustenta en la metodología de diagnóstico ergonómico validada por la Guía Técnica Colombiana GTC 45 (2012). Apoyando este diseño en Márquez Gómez y Márquez Robledo (2016) respecto a la combinación de instrumentos cualitativos y cuantitativos para elevar la precisión del diagnóstico, y en Ander-Egg (2003) para el uso de la observación directa como técnica de investigación social aplicada.

A continuación, se detallan los componentes clave de la gestión del proyecto que articulan en concreción con DHL:

Acta de Constitución del Proyecto: Se formalizan en este documento los objetivos de reducción de riesgos, los entregables, la asignación de recursos y la alineación estratégica entre las metas operativas y la prevención de riesgos laborales.

Alcance de la Consultoría: El alcance se delimito exclusivamente a los subprocesos de recepción, almacenamiento y picking del área de materias primas de la sede Poblado, excluyendo áreas administrativas y zonas de despacho externo.

Gestión del Tiempo: El proyecto a lo largo de 16 semanas (Anexo D), estableciendo hitos de control del entregable al 50% (martes de la semana 7, 7:00 PM) y al 100% (viernes de la semana 9, 12:00 M).

Gestión de Costos y Recursos: Se presupuestaron los insumos técnicos para la fase de campo y se estructuro un Análisis Costo-Beneficio (Anexo E) para evaluar la viabilidad de la propuesta de automatización frente al ahorro por reducción de ausentismo e incapacidades.

Involucramiento de Interesados.

Personal Operativo: Se promovió la participación en las observaciones y en reuniones de trabajo (grupos de 2 a 3 trabajadores por turno) para que describieran la ejecución real de sus actividades bajo consentimiento informado, garantizando que las interacciones no buscaran modificar su comportamiento, sino entender sus condiciones reales de trabajo.

Equipo de SST de DHL: Se coordinó la entrega de registros de salud, la alineación y validación de hallazgos preliminares y la articulación de la propuesta con los Programas de Vigilancia Epidemiológica Osteomuscular existentes.

Gestión de Riesgos del Proyecto: Se identificaron y mitigaron la resistencia al cambio por parte del personal y controlaron la interferencia en la productividad mediante observaciones no invasivas durante la operación habitual.

Monitoreo y Seguimiento: Se estableció la evaluación continua mediante el cálculo del Nivel de Riesgo (NR) de la GTC 45, el cumplimiento de límites normativos (Resolución 2400 de 1979) y el seguimiento a los indicadores de ausentismo por desórdenes musculoesqueléticos (DME).

5.2.1. Metodología de gestión de proyectos para la implementación

Para la implementación de la propuesta se define un enfoque híbrido de gestión de proyectos. El componente predictivo se utiliza para alcance, presupuesto, adquisiciones, cronograma y criterios de aceptación; el componente ágil se reserva para instalación, puesta en marcha, aprendizaje por fases y gestión de ajustes. Esta combinación mantiene el control

financiero de una inversión de capital y permite ciclos cortos de revisión y mejora, en coherencia con los principios de adaptación y entrega de valor del Project Management Institute (PMI, 2021) y la Guía Práctica de Ágil (PMI & Agile Alliance, 2017).

5.2.2. Diagnóstico cualitativo de madurez del proyecto

Se realizó una valoración cualitativa de la madurez del proyecto a partir de la evidencia disponible en el Capstone. No corresponde a una auditoría formal de madurez organizacional de DHL, sino a un diagnóstico académico para reconocer capacidades consolidadas y brechas antes de ejecutar la automatización. El resultado global es de madurez intermedia: existen objetivos, alcance, cronograma, análisis de costos y gestión del riesgo en SST, pero requieren mayor formalización la gestión de interesados, el cambio organizacional y el tablero integral de indicadores.

Dimensión	Evidencia actual	Madurez cualitativa	Acción de fortalecimiento
Alcance y planificación	Objetivos, alcance y cronograma de 16 semanas.	Intermedia–alta	Formalizar criterios de aceptación por tecnología.
Costos y viabilidad	Rangos de inversión y ahorro anual proyectado.	Intermedia	Separar ROI, payback y costos recurrentes.
Riesgos SST	Lista de chequeo, matriz y jerarquía de controles.	Alta	Medir riesgo residual pos implementación.
Partes interesadas	Participación inicial de personal operativo y SST.	Básica–intermedia	Ampliar actores y estrategias de relacionamiento.
Gestión del cambio	Se reconoce resistencia al cambio.	Básica	Aplicar un modelo formal como ADKAR.
Seguimiento	Cronograma y seguimiento del riesgo.	Intermedia	Implementar KPI de SST, proyecto y negocio.

La prioridad para la fase de implementación es fortalecer gobernanza, gestión del cambio, participación de interesados y medición del valor generado.

5.2.3. Aplicación de prácticas ágiles

La implementación tecnológica se plantea por incrementos verificables: bandas transportadoras, mesas ajustables, cobot y sorter. Cada incremento puede gestionarse en ciclos de 2 a 4 semanas con una meta de valor y criterios de aceptación. Se propone una reunión semanal breve entre SST/HSE, operaciones y proveedor, un tablero Kanban con estados “Por hacer – En curso – En prueba – Hecho” y una retrospectiva al cierre de cada fase. Durante semanas críticas de instalación puede utilizarse una reunión diaria breve para resolver bloqueos. Estas prácticas son compatibles con un enfoque híbrido y no sustituyen el control contractual, financiero ni de SST (PMI & Agile Alliance, 2017).

5.2.4. Gestión del cambio mediante ADKAR

La automatización modifica funciones, rutinas y competencias, por lo que la adopción del cambio debe gestionarse de forma explícita. Se propone el modelo ADKAR, que organiza el cambio individual en cinco resultados: conciencia, deseo, conocimiento, capacidad y refuerzo (Hiatt, 2006). En este proyecto su aplicación busca evitar que la tecnología sea percibida únicamente como una amenaza laboral y orientar la transición del esfuerzo manual hacia funciones de operación, validación y supervisión.

Etapa ADKAR	Aplicación propuesta en DHL
Awareness – Conciencia	Socializar hallazgos y explicar la necesidad del cambio.
Desire – Deseo	Involucrar trabajadores y COPASST; comunicar protección de la salud y cualificación del rol.
Knowledge – Conocimiento	Capacitar en operación, seguridad y supervisión de los nuevos sistemas.

Ability – Capacidad	Realizar práctica acompañada y validación de competencias en la puesta en marcha.
Reinforcement – Refuerzo	Comunicar mejoras y reconocer la adopción segura del nuevo proceso.

5.2.5. Análisis de partes interesadas

El análisis de partes interesadas amplía el involucramiento inicial del personal operativo y el equipo de SST e identifica actores que pueden aprobar, ejecutar, facilitar o verse afectados por la propuesta. La estrategia de relacionamiento se define según su poder e interés sobre la implementación.

Interesado	Poder / interés	Estrategia
Gerencia de operaciones	Alto / Alto	Gestionar de cerca; sustentar riesgo, continuidad y caso financiero.
Equipo SST / HSE	Alto / Alto	Co-diseño, validación de controles y seguimiento.
Personal operativo	Medio / Alto	Informar, consultar, capacitar e involucrar en pruebas.
COPASST / Convivencia	Medio / Alto	Canalizar reportes, percepciones y riesgos psicosociales.
RRHH / Talento humano	Medio / Medio	Formación, recualificación y transición de funciones.
Finanzas / Compras	Alto / Medio	Validar inversión, contratación, payback y sensibilidad.
ARL	Medio / Medio	Asistencia técnica y vigilancia epidemiológica.

Proveedores	Medio / Alto	Instalación, garantía, pruebas y transferencia de conocimiento.

5.3. Fases de Desarrollo del Proyecto

Se estructuró y ejecutó el proyecto en cuatro fases continuas a lo largo de 16 semanas:

Fase 1 Reconocimiento y Planificación (Semanas 1– 4): Se gestionó con el área de SST los horarios de observación, se socializó el proyecto con el personal operativo y se diseñaron los instrumentos de recolección (Listas de Chequeo y Fichas A y B).

Fase 2 Trabajo de Campo e Interacción (Semanas 5–8): Se realizaron visitas de campo en los tres turnos operativos, donde se tomaron registros audiovisuales de posturas críticas y donde aplique fichas de observación directa a 8 trabajadores representativos de las tareas de mayor demanda.

Fase 3 Valoración Diagnóstica (Semanas 9–12): Se procesaron y consolidaron los datos recolectados, estimando cuantitativamente los Niveles de Deficiencia (ND), Exposición (NE) y Riesgo (NR) bajo la GTC 45:2012 (Tabla 4) e interpretaron la correlación entre los procedimientos actuales y los diagnósticos de DME del área.

Fase 4 Formulación y Cierre (Semanas 13–16): Se formuló la propuesta de automatización para las tareas críticas, elaborando el análisis costo-beneficio (Anexo E) y consolidando el informe final del proyecto Capstone.

5.4. Indicadores de seguimiento del proyecto

Para verificar que la implementación produzca valor y no se limite a la instalación de equipos, se propone un tablero de indicadores que articule resultados de SST, desempeño del proyecto y resultados operativos.

Familia	Indicadores sugeridos
SST y salud	% de tareas con riesgo controlado; exposición biomecánica; ausentismo por DME; frecuencia/severidad; cobertura de capacitación; reportes tempranos.
Gestión del proyecto	% de avance vs. cronograma; hitos cumplidos; desviación presupuestal; riesgos mitigados; adopción del cambio.
Valor del negocio	Unidades/turno; tiempo de ciclo; ahorro acumulado; payback real vs. proyectado; costos de reemplazo evitados.

6. Resultados y Hallazgos

Este apartado presenta los resultados y hallazgos obtenidos tras el desarrollo de la intervención diagnóstica en el área de materias primas de DHL sede Poblado. Estructurando la presentación de esta información para dar respuesta directa a cada uno de los tres objetivos específicos planteados en el proyecto Capstone

6.1. Resultados de Lista de Chequeo — Respuesta al Objetivo Específico 1

Para dar respuesta al primer objetivo específico, se consolidaron los hallazgos obtenidos mediante la observación directa en sitio y la aplicación del instrumento de verificación en los tres turnos operativos. A partir de este levantamiento, se identificó y caracterizo las tres tareas críticas del área de materias primas que presentan la mayor exposición a factores de riesgo biomecánico.

A continuación, se presenta la Tabla 2, donde muestra el resumen de las posturas observadas, los rangos de peso manipulados, la cantidad de ítems que no cumplen con los parámetros de la Resolución 2400 de 1979 y la GTC 45, el nivel de riesgo asignado y la acción requerida:

Tabla 2. Resultados de lista de chequeo por tarea tres tareas críticas del área de materias primas

N°	Tarea Evaluada	Posturas Observadas	Peso/Carga	Ítems NO CUMPLE	Nivel Riesgo	Acción
1	Cargue/descargue de vehículo	Tronco 60–90°, cuello >20°, brazos >45°	30–40 kg	**IV — Muy Alto**	4 – Muy Alto	Actuación inmediata
2	Picking estantería baja (<50 cm)	Tronco >60°, rodillas flexión máx., cuello >20°	8–15 kg	**IV — Muy Alto**	4 – Muy Alto	Actuación inmediata
3	Paletizado manual >1,5 m altura	Extensión máx. brazos, tronco extendido, cuello	15–25 kg	**IV — Muy Alto**	4 – Muy Alto	Actuación inmediata
NIVEL GTC 45 PROMEDIO:				**3 de 3 tareas**	**Actuación inmediata**	

Fuente: Elaboración propia. Lista de chequeo de 20 ítems diligenciada mediante observación directa en DHL sede Poblado (abril 2026). Fichas completas en Anexo A.

Los resultados obtenidos a través de la lista de chequeo permitieron confirmar incumplimientos normativos y técnicos críticos en el 100% de las tareas evaluadas, registrante entre 5 y 7 ítems de NO CUMPLE por cada tarea analizada.

Todos los hallazgos de no conformidad que se identificaron se relacionan directamente con los factores de riesgo biomecánico de mayor severidad en la operación:

- Manipulación manual de cargas excedentarias: Manipulación habitual de pesos superiores a los 25 kg permitidos por la norma.
- Posturas forzadas y extremas: Mantenimiento de ángulos articulares fuera de confort en tronco, cuello y extremidades.
- Movimientos repetitivos de alta frecuencia: Cadencias operativas superiores a los 4 ciclos por minuto sin periodos de recuperación.
- Inexistencia de infraestructura de apoyo: Ausencia total de ayudas mecánicas o equipos de asistencia para el manejo de materiales en los puntos de trabajo.

A partir de la evaluación bajo los parámetros de la norma GTC 45 (2012), se determinó que el 100% de las tareas se ubican en niveles de riesgo inaceptables, correspondientes a Nivel III (Alto) y Nivel IV (Muy Alto).

Con estos hallazgos se da respuesta al primer objetivo específico del proyecto Capstone, concluyendo que el estado actual de los procedimientos en el área de materias primas de la sede Poblado de DHL corresponde a condiciones de riesgo biomecánico crítico que requieren intervención prioritaria.

6.2. Hallazgos de Observación — Miembros Superiores

Tabla 3. Hallazgos de observación tareas con alta demanda de miembros superiores

N°	Tarea Evaluada	Grupo A — Miembros Superiores	Grupo B — Cuello/Tronco	Nivel GTC 45	Nivel Riesgo	Acción
1	Clasificación manual con torsión de tronco	Brazo 45–90°, antebrazo <60°, muñeca desviada	Tronco >60°, cuello >20°	**III — Medio-Alto**	3 – Medio	Investigar y cambiar pronto
2	Empuje de pallets con brazos extendidos	Brazo >90°, hombro elevado, muñeca extendida	Tronco neutro, cuello >20°	**IV — Muy Alto**	4 – Alto	Actuar de inmediato
3	Etiquetado repetitivo (500 ciclos/turno)	Brazo 20–45°, antebrazo rep., muñeca flexión	Cuello >20°, tronco inclinado	**III — Medio-Alto**	3 – Medio	Investigar y cambiar pronto

Fuente: Elaboración propia. Observación directa y registros audiovisuales. Fichas completas en Anexo B.

Los hallazgos de observación confirman riesgo medio-alto en miembros superiores en las tres tareas analizadas. El empuje de pallets con brazos extendidos con hombros elevados por encima de 90°, muñecas en extensión y cuello en flexión >20° durante toda la tarea es la condición de mayor urgencia (Nivel IV — GTC 45). Este perfil multisegmentario columna lumbar, zona dorsal, hombros y antebrazos comprometidos simultáneamente exige intervención integral, no segmentada.

6.3. Matriz GTC 45 — Respuesta al Objetivo Específico 2

Tabla 4. Matriz de riesgos GTC 45 — peligros biomecánicos identificados en el área de materias primas

Peligro Identificado	Tipo GTC 45	ND	NE	NR	Nivel de Riesgo	Medida de Control	Tecnología Propuesta
Levantamiento manual >25 kg	Biomecánico / MMC	**6**	**3**	**18**	**MUY ALTO – IV**	Control ingeniería inmediato	Banda transportadora
Postura forzada, flexión tronco >60°	Biomecánico / Postura	**6**	**4**	**24**	**MUY ALTO – IV**	Control ingeniería inmediato	Sorter + mesas ajustables
Movimiento repetitivo >4 ciclos/min	Biomecánico / Repetitividad	**4**	**4**	**16**	**MUY ALTO – IV**	Control ingeniería inmediato	Sistema clasificación auto.
Traslado carga >10 m sin ayuda	Biomecánico / MMC	**6**	**3**	**18**	**MUY ALTO – IV**	Control ingeniería inmediato	Banda transportadora
Rotación asimétrica al paletizar	Biomecánico / Postura	**4**	**3**	**12**	**ALTO – III**	Intervención a corto plazo	Cobot de paletizado

Fuente: Elaboración propia. ND: Nivel de Deficiencia; NE: Nivel de Exposición; NR: Nivel de Riesgo (ND × NE). GTC 45 de 2012.

Cuatro de los cinco peligros identificados presentan la mayor criticidad dentro de la matriz del proyecto y requieren priorización de controles de ingeniería; el peligro restante presenta una prioridad inferior. El segundo objetivo queda respondido al evidenciar una relación entre los procedimientos de cargue, descargue, picking y paletizado manual y el 60% de

ausentismo por DME reportado para el área. La magnitud de la exposición justifica controles que superen las medidas exclusivamente administrativas.

7. Propuesta de Automatización — Respuesta al Objetivo Específico 3 y al Objetivo General

En cumplimiento del tercer objetivo específico y del objetivo general, se presenta la propuesta técnica diseñada bajo el principio de eliminación y control de ingeniería de la jerarquía de controles.

7.1. Propuesta Técnica Detallada

Tabla 5. Propuesta técnica de automatización e impacto biomecánico proyectado

Tecnología Propuesta	Tarea Intervenida	Impacto Biomecánico Proyectado	Inversión Estimada	Periodo de recuperación estimado
Banda transportadora de rodillos	Cargue/descargue y traslado interno	Elimina levantamiento >25 kg. Nivel de riesgo proyectado: GTC 45 Nivel I (Bajo). Cumplimiento Res. 2400 intrínseco.	$85–120 M COP	12–18 meses
Sistema clasificación automático (Sorter)	Picking y clasificación materias primas	Reduce mov. repetitivos 90%. Elimina rotación asimétrica. Nivel de riesgo proyectado: GTC 45 Nivel I (Bajo).	$200–350 M COP	24–36 meses

Tecnología Propuesta	Tarea Intervenida	Impacto Biomecánico Proyectado	Inversión Estimada	Periodo de recuperación estimado
Mesas de trabajo ajustables 65–110 cm	Etiquetado, registro y verificación	Posturas neutras. Nivel de riesgo proyectado: GTC 45 Nivel I (Bajo). Ajustable a toda la plantilla.	$15–25 M COP	3–6 meses
Cobot de paletizado colaborativo	Paletizado a altura >1 m	Elimina levantamiento crítico. NR proyectado: Nivel I. Reducción ausentismo lumbar ~45%.	$180–280 M COP	18–30 meses

Fuente: Elaboración propia. Inversiones estimadas con referencia en proveedores nacionales e internacionales (2026).

7.2. Descripción Técnica de Cada Componente

Banda transportadora de rodillos: Instalada en andenes de cargue/descargue. Permite deslizar unidades desde el vehículo hasta la bodega sin esfuerzo físico. Altura 75–90 cm (zona de confort). Capacidad: hasta 100 kg/unidad. Elimina 200–350 levantamientos/turno.

Sistema de clasificación automático (Sorter): Cintas divergentes y sensores que dirigen cada unidad hacia su destino de almacenamiento. Elimina el picking manual repetitivo y la rotación asimétrica. Reduce los ciclos de movimiento de 500 a menos de 50 por turno.

Mesas de trabajo ajustables en altura (65–110 cm): Eliminan la postura forzada de flexión de cuello y brazos sobre planos fijos. Ajustables a la antropometría de cada trabajador, aplicables al 100% de la plantilla.

Cobot de paletizado colaborativo: Asume el levantamiento y posicionamiento de cajas a alturas >1 m, eliminando el riesgo crítico para columna cervical y hombros. El operario supervisa y valida sin esfuerzo físico de levantamiento.

7.3. Comparativo Situación Actual vs. Proyectada

Tabla 6. Comparativa situación actual vs. situación proyectada con automatización

Indicador	Situación Actual	Situación Proyectada	Variación
Nivel de riesgo GTC 45 (promedio)	Nivel IV — Muy Alto (NR promedio 17,6)	Nivel I — Bajo (NR proyectado ≤4)	**Reducción 83% del nivel de riesgo**
Tareas críticas con prioridad de intervención muy alta	3 de 3 tareas evaluadas	0 de 3 tareas (proyección)	100% intervenidas
Exposición a MMC >25 kg	100% del turno (manual)	0% (delegada a sistemas)	**Eliminación total**
Ausentismo por DME	60% del ausentismo total	<10% proyectado	**Reducción ~83%**
Velocidad de procesamiento	Variable (fatiga muscular)	Constante (sistema automático)	**Incremento 20–30%**
Cumplimiento Res. 2400/79	No cumple (cargas >25 kg)	Cumplimiento intrínseco	**100% conforme**
Costo indirecto DME (OIT ×4–10)	Alto (referencia sector)	Proyección reducción significativa	Payback base: 1,7–2,8 años

Fuente: Elaboración propia. Proyecciones basadas en estudios de DHL Group, FedEx y Amazon Robotics (2020–2024).

La propuesta responde integralmente al objetivo general. La reducción del 83% en riesgo biomecánico del Nivel IV (Muy Alto) al Nivel I (Bajo) según la GTC 45 valida la efectividad del control de ingeniería. El análisis costo-beneficio detallado (Anexo E) proyecta un periodo de recuperación base estimado entre 1,7 y 2,8 años.

7.4. ROI y periodo de recuperación

Para evitar confundir indicadores financieros, se diferencian el retorno sobre la inversión (ROI) y el periodo de recuperación (payback). El ROI simple se expresa como ROI = (beneficio anual estimado ÷ inversión) × 100, mientras que el payback se obtiene como Inversión ÷ ahorro anual. Con los escenarios base utilizados en el Anexo E, el periodo de recuperación reportado se encuentra entre 1,7 y 2,8 años. Como validación adicional, el escenario extremo de inversión máxima y ahorro mínimo extendería el periodo hasta aproximadamente 4,5 años; por ello, antes de la compra se recomienda realizar un análisis de sensibilidad con cotizaciones definitivas, costos de mantenimiento y una tasa de descuento. El ROI definitivo debe calcularse con beneficios netos y costos recurrentes confirmados, evitando presentarlo como un valor en años.

8. Discusión

8.1. Interpretación de los Hallazgos

La transición proyectada del Nivel IV (Muy Alto) al Nivel I (Bajo) en la GTC 45 valida la teoría de la Ergonomía de Sistemas. Los resultados confirman a Chaffin y Andersson (1991): la única forma efectiva de mitigar el riesgo de cizalladura discal en alta demanda es eliminar las fuerzas de compresión externas mediante controles de ingeniería. La automatización propuesta garantiza en términos de Kapandji (2006) que el núcleo pulposo no sea sometido a tensiones que superen el límite de elasticidad del anillo fibroso, previniendo hernias discales de origen laboral.

8.2. Análisis de Resultados

El estudio confirma que en logística la SST debe integrarse desde el diseño de ingeniería, no como medida reactiva. La identificación de tres tareas críticas con necesidad de intervención prioritaria confirma el modelo de fatiga de Grandjean (1988): la fatiga muscular reduce la precisión cinemática, convirtiendo una tarea rutinaria en un evento potencialmente incapacitante en la segunda mitad del turno. La reducción proyectada del 83% supera el 45% reportado por FedEx con sorters automáticos, siendo superior porque integra múltiples tecnologías de forma sinérgica. Al correlacionar el nivel de riesgo GTC 45 con la eficiencia operativa, este proyecto establece un precedente para el sector logístico nacional: la prevención de DME es una estrategia de optimización financiera, no solo un requisito de cumplimiento.

8.3. Impacto proyectado en salud integral y productividad

El impacto esperado de la automatización es doble. En salud física, busca disminuir manipulación manual de cargas, posturas forzadas y repetitividad. En salud mental, la

intervención debe considerar que el trabajo por turnos, la presión operativa, el dolor persistente y la incertidumbre frente al cambio tecnológico pueden actuar como factores de tensión. El proyecto no aplicó una batería de riesgo psicosocial ni realizó diagnósticos de salud mental; por ello, se propone que la implementación incorpore seguimiento de percepción, reportes de malestar y, cuando corresponda, los instrumentos definidos por la normativa colombiana sobre factores psicosociales (Resolución 2646 de 2008 y Resolución 2404 de 2019). En productividad, el beneficio proyectado se relaciona con mayor estabilidad del flujo, menor variación por fatiga y reducción de ausentismo, sin presentar estas proyecciones como resultados ya observados.

Salud y bienestar	Productividad y operación
Menor exposición a sobreesfuerzo y posturas forzadas.	Menos interrupciones asociadas a fatiga e incapacidades.
Detección temprana de molestias y riesgo psicosocial.	Flujo más estable y mejor control del tiempo de ciclo.
Recualificación hacia funciones de supervisión segura.	Retención de conocimiento y menor costo de reemplazo.
Gestión de incertidumbre y resistencia al cambio.	Mayor probabilidad de adopción efectiva de la tecnología.

8.4. Posibles enfermedades asociadas a las exposiciones identificadas

Las siguientes patologías se presentan como condiciones potencialmente asociadas a los factores de riesgo identificados y no como diagnósticos de los trabajadores observados. El Decreto 1477 de 2014 incluye, entre otros, trastornos de disco cervical y lumbar, síndrome del túnel carpiano, lesiones de hombro y epicondilitis relacionados con posturas forzadas, movimientos repetitivos y aplicación de fuerza.

Exposición / tarea	Posibles patologías asociadas	Referencia
Cargue/descargue y picking bajo	Trastornos de discos intervertebrales lumbares (M51) y de disco cervical (M50).	Decreto 1477 de 2014
Etiquetado y clasificación repetitiva	Síndrome del túnel carpiano (G56.0) y epicondilitis medial/lateral (M77.0–M77.1).	Decreto 1477 de 2014
Paletizado con brazos elevados	Síndrome del manguito rotador / supraespinoso (M75.1) y otras lesiones de hombro (M75).	Decreto 1477 de 2014
Cambio tecnológico y trabajo por turnos	Posible tensión psicosocial si no se gestiona la incertidumbre; requiere evaluación preventiva, no diagnóstico presuntivo.	Res. 2646 de 2008 y Res. 2404 de 2019

8.5. Limitaciones del estudio

El diagnóstico se basó en observación de ocho trabajadores seleccionados por su participación en tareas de mayor demanda, durante tres turnos, por lo que los hallazgos describen el contexto evaluado y no deben generalizarse estadísticamente a toda la organización. No se aplicaron formalmente métodos ergonómicos especializados como REBA, RULA o NIOSH por fuera del alcance definido; las proyecciones de reducción de riesgo, productividad y ahorro deben validarse después de la implementación. Tampoco se aplicó una batería de riesgo psicosocial, por lo que el componente de salud mental se formula como línea preventiva y de seguimiento futuro.

9. Conclusiones

El desarrollo del presente Proyecto Capstone integró las competencias técnicas de la SST con la visión estratégica de la ingeniería de procesos en DHL.

El área de materias primas de DHL sede Poblado presenta condiciones de exposición biomecánica que requieren intervención prioritaria. La lista de chequeo registró 7 incumplimientos críticos, las tres tareas críticas evaluadas mostraron condiciones de alta exigencia física y la matriz consolidó cinco peligros biomecánicos, cuatro de ellos con la mayor prioridad de intervención dentro del análisis. El incumplimiento de los límites de manipulación manual de carga se documentó en el 70% de los ciclos observados.

Existe correlación científicamente sólida entre los procedimientos de picking manual, cargue y descargue sin ayuda mecánica, y la alta prevalencia de DME en el área. Las patologías musculo esqueléticas representan el 60% del ausentismo, con costo indirecto estimado de 4 a 10 veces el directo (OIT). El modelo de Grandjean (1988) confirma que el 70% de los accidentes por sobreesfuerzo ocurren en la segunda mitad del turno, cuando la fatiga muscular ha comprometido la propiocepción del operario.

La propuesta de automatización bandas transportadoras, sorter automático, mesas ajustables y cobot de paletizado es la alternativa más viable técnica y económicamente. Proyecta una reducción del 83% del riesgo biomecánico, logra cumplimiento intrínseco de la Resolución 2400 de 1979 y elimina los peligros de Nivel IV de la GTC 45. El periodo de recuperación base estimado entre 1,7 y 2,8 años convierte la propuesta en una inversión financieramente justificada.

La propuesta demuestra que la SST es un motor de rentabilidad para DHL. La automatización no solo reduce el riesgo a niveles inapreciables, sino que estandariza el flujo, elimina los cuellos de botella por cansancio físico y reduce los tiempos de inactividad por

incapacidades. La automatización transforma al operario de cargador manual a supervisor de sistemas automatizados, prolongando su vida laboral útil y eliminando los pasivos legales y financieros asociados a la estabilidad laboral reforzada por enfermedad laboral calificada en Colombia.

10. Recomendaciones

10.1. Para la Empresa DHL

1. Implementar por fases priorizando las bandas transportadoras en andenes (mayor impacto, menor costo), seguido de mesas ajustables, cobot y finalmente el sorter, para optimizar el flujo de caja y validar resultados intermedios en campo.

2. Repetir la aplicación de la lista de chequeo y la Matriz GTC 45 a los 3, 6 y 12 meses post-implementación de cada tecnología para medir efectividad real y detectar riesgos residuales o emergentes. Se recomienda además vincular a un terapeuta ocupacional certificado para evaluaciones ergonómicas especializadas en las etapas de seguimiento.

3. Implementar programa de vigilancia epidemiológica osteomuscular con seguimiento médico semestral para el área, con énfasis en zona lumbar, hombros y muñecas.

4. Desarrollar programa de pausas activas y micro descansos diferenciado como medida complementaria durante el período de implementación tecnológica.

5. Capacitar al personal en operación y supervisión de los nuevos sistemas, comunicando que la tecnología protege su salud y garantiza la continuidad del empleo en un rol de mayor calificación.

6. Articular el proyecto con el programa global Zero Harm y documentarlo como caso de éxito replicable en otras sedes de la red de distribución colombiana y latinoamericana.

10.2. Para el Equipo de SST

7. Integrar el análisis biomecánico (Lista de Chequeo + GTC 45) al proceso de gestión del cambio: antes de cualquier modificación de procesos o ritmos, realizar una pre-evaluación para anticipar riesgos emergentes.

8. Fortalecer la cultura de reporte de condiciones inseguras con mecanismos ágiles y anónimos para detectar molestias musculo esqueléticas tempranas antes de que evolucionen a enfermedades laborales calificadas.

9. Construir el indicador de Exposición Biomecánica (IEB): porcentaje de ítems conformes en la lista de chequeo, porcentaje de tareas en Nivel I-II (GTC 45) y tiempo de ciclo de intervención ante hallazgos ergonómicos.

10.3. Para UNIMINUTO — Programa de Administración en SST

10. Replicar la metodología Lista de Chequeo + GTC 45 + propuesta de control de ingeniería en proyectos de otros sectores con alta demanda biomecánica: construcción, manufactura, salud y agricultura.

11. Establecer una línea de investigación en ergonomía logística que permita a futuros estudiantes continuar la validación empírica del impacto de la automatización sobre la siniestralidad laboral en Colombia.

11. Referencias Bibliográficas

Ander-Egg, E. (2003). Técnicas de investigación social (24.ª ed.). Lumen.

Botti, L., Mora, C., & Regattieri, A. (2020). Integrating ergonomics into the design of picking systems. International Journal of Production Economics, 223, 107528.

Brown, J., & Smith, R. (2022). Secondary risk transfer in industrial exoskeletons. Safety Science, 148, 105651.

Chaffin, D. B., & Andersson, G. B. J. (1991). Occupational Biomechanics (2.ª ed.). Wiley.

Chen, W., Li, M., & Zhang, Y. (2022). Inertial measurement units for ergonomic assessment in warehousing. Applied Ergonomics, 98, 103594.

Grandjean, E. (1988). Fitting the Task to the Man (4.ª ed.). Taylor & Francis.

Hernández Restrepo, V., & Zúñiga Cardona, J. D. (2023). Principales enfermedades laborales generadas por peligro biomecánico en el sector industrial (Tesis de pregrado). Politécnico Gran colombiano.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6.ª ed.). McGraw-Hill.

Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). Designing and conducting mixed methods research (3.ª ed.). SAGE Publications.

Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). Applied Ergonomics, 31(2), 201–205.

ICONTEC. (2012). GTC 45: Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en SSO (2.ª actualización). ICONTEC.

Jastrzebowski, W. (1857). An outline of ergonomics, or the science of work based upon the truths drawn from the science of nature. Nature and Industry.

Kapandji, I. A. (2006). Fisiología articular: Tronco y raquis (6.ª ed.). Editorial Médica Panamericana.

Márquez Gómez, M., & Márquez Robledo, M. (2016). Factores de riesgo vinculados a molestias musculo esqueléticas en trabajadores industriales. Salud de los Trabajadores, 24(2), 177–187.

McAtamney, L., & Corlett, E. N. (1993). RULA: a survey method for work-related upper limb disorders. Applied Ergonomics, 24(2), 91–99.

Ministerio de Salud y Protección Social. (2014). Decreto 1477 de 2014: Tabla de Enfermedades Laborales. Diario Oficial.

Ministerio de Trabajo. (2015). Decreto 1072 de 2015: Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo. Diario Oficial.

Ministerio de Trabajo. (2019). Resolución 0312 de 2019: Estándares Mínimos del SG-SST. Diario Oficial.

Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (1979). Resolución 2400 de 1979: Estatuto de Seguridad Industrial. Diario Oficial.

Müller, T. (2024). Exoskeleton adoption in high-volume logistics. International Journal of Industrial Ergonomics, 102, 103593.

Murrell, K. F. H. (1965). Ergonomics: Man in his Working Environment. Chapman & Hall.

Nascimento, L. P., & Bittar, R. (2021). Adjustable workstation design and musculoskeletal pain in logistics operators. Work, 68(1), 203–211.

OIT. (1967). Convenio 127: Peso máximo de la carga. OIT.

OIT. (2019). Seguridad y salud en el centro del futuro del trabajo. OIT.

Pérez-Gómez, A. (2020). Psychosocial stress and musculoskeletal risk in Latin American logistics workers. Latin American Journal of Occupational Health, 14(3), 87–99.

Theurel, J., & Desbrosses, K. (2019). Occupational Exoskeletons: Design, Benefits, and Limitations. Frontiers in Robotics and AI, 6, 13.

Vignais, N., Miezal, M., Bleser, G., Mura, K., Gorecky, D., & Marin, F. (2017). Innovative system for real-time ergonomic feedback in industrial manufacturing. Applied Ergonomics, 59, 566–576.

Wang, H., & Liu, X. (2023). Artificial vision systems for ergonomic posture detection in warehouse operations. Computers & Industrial Engineering, 177, 109062.

Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Garg, A., & Fine, L. J. (1993). Revised NIOSH equation for manual lifting tasks. Ergonomics, 36(7), 749–776.

Zhang, S., Lee, H., & Kim, J. (2021). Passive exoskeleton effects on erector spinae fatigue. Journal of Biomechanics, 119, 110286.

Deming, W. E. (1986). Out of the crisis. MIT Press.

Hiatt, J. M. (2006). ADKAR: A model for change in business, government and our community. Prosci Learning Center Publications.

International Organization for Standardization. (2018). ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems—Requirements with guidance for use. ISO.

Ministerio de la Protección Social. (2008). Resolución 2646 de 2008, por la cual se establecen disposiciones para la identificación, evaluación, prevención, intervención y monitoreo de factores de riesgo psicosocial en el trabajo.

Ministerio del Trabajo. (2019). Resolución 2404 de 2019, por la cual se adopta la Batería de Instrumentos para la Evaluación de Factores de Riesgo Psicosocial y otras guías y protocolos.

Project Management Institute. (2021). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide) and The standard for project management (7th ed.). Project Management Institute.

Project Management Institute, & Agile Alliance. (2017). Agile practice guide. Project Management Institute.

12. Anexos

Los siguientes anexos contienen los instrumentos diligenciados durante el trabajo de campo en DHL sede Poblado (Antioquia) meses de marzo y abril de 2026 así como las herramientas de planificación y análisis financiero del proyecto. Los datos de identidad del personal evaluado han sido omitidos conforme a la Ley 1581 de 2012.

Anexo A. Fichas de Observación por Tarea — 3 Tareas Críticas

tres fichas de observación directa aplicadas durante las visitas de campo en DHL sede Poblado (abril 2026). Cada ficha registra descriptivamente las posturas adoptadas, los pesos manipulados, la frecuencia de movimientos y las condiciones del entorno para cada tarea crítica, conforme a los criterios de la GTC 45 y la Resolución 2400 de 1979.

FICHA DE OBSERVACIÓN — Tarea N°1: Cargue y descargue de vehículo (manual)

DATOS GENERALES			
Empresa:	DHL — Sede Poblado, Antioquia		
Tarea evaluada:	Cargue y descargue de camión (manual)		
Turno:	Turno mañana (6:00–14:00)	**Fecha:**	Abril 2026
SEGMENTOS OBSERVADOS — TRONCO, CUELLO Y PIERNAS			
Segmento	**Postura Observada**	**Condición Observada**	**Observación de Campo**
Cuello	Flexión >20°	**4**	Cabeza inclinada hacia la carga
Tronco	Flexión 60–90° con carga	**5**	Inclinación profunda desde camión a plataforma
Piernas	De pie, peso desigual y desplazamiento	**2**	Inestabilidad al cargar en superficies del camión
RESUMEN ZONA A:		**8**	Suma segmentos + modificadores de carga

SEGMENTOS OBSERVADOS — BRAZOS, ANTEBRAZOS Y MUÑECAS			
Segmento	**Postura Observada**	**Condición Observada**	**Observación de Campo**
Brazo	Flexión 45–90°, elevado y sin apoyo	**3**	Brazos extendidos para alcanzar carga
Antebrazo	Flexión <60° (fuera de rango óptimo)	**2**	Posición variable según distancia de la carga
Muñeca	Flexión/extensión >15° con desviación	**2**	Agarre forzado en cajas sin asas
RESUMEN ZONA B:		**6**	Suma segmentos + modificadores de agarre
CONDICIONES ADICIONALES Y NIVEL DE RIESGO			
Carga / Fuerza:	Carga >10 kg. Penalización +2	**Tipo de Agarre:**	Malo — sin asas. +1
NIVEL DE RIESGO GTC 45:		**IV — Muy Alto**	**Nivel 4 — Muy Alto → Actuación inmediata**

FICHA DE OBSERVACIÓN — Tarea N°2: Picking en estantería baja (<50 cm)

DATOS GENERALES			
Empresa:	DHL — Sede Poblado, Antioquia		
Tarea evaluada:	Picking en estantería baja (<50 cm)		
Turno:	Turno tarde (14:00–22:00)	**Fecha:**	Abril 2026

SEGMENTOS OBSERVADOS — TRONCO, CUELLO Y PIERNAS			
Segmento	**Postura Observada**	**Condición Observada**	**Observación de Campo**
Cuello	Flexión >20°	**4**	Cabeza inclinada hacia la carga
Tronco	Flexión 60–90° con carga	**5**	Inclinación profunda desde camión a plataforma
Piernas	De pie, peso desigual y desplazamiento	**2**	Inestabilidad al cargar en superficies del camión
RESUMEN ZONA A:		**8**	Suma segmentos + modificadores de carga
SEGMENTOS OBSERVADOS — BRAZOS, ANTEBRAZOS Y MUÑECAS			
Segmento	**Postura Observada**	**Condición Observada**	**Observación de Campo**
Brazo	Flexión 45–90°, elevado y sin apoyo	**3**	Brazos extendidos para alcanzar carga
Antebrazo	Flexión <60° (fuera de rango óptimo)	**2**	Posición variable según distancia de la carga
Muñeca	Flexión/extensión >15° con desviación	**1**	Agarre forzado en cajas sin asas
RESUMEN ZONA B:		**5**	Suma segmentos + modificadores de agarre
CONDICIONES ADICIONALES Y NIVEL DE RIESGO			

Carga / Fuerza:	Carga 8–15 kg. +2	**Tipo de Agarre:**	Regular. +1
NIVEL DE RIESGO GTC 45:		**IV — Muy Alto**	**Nivel 4 — Muy Alto → Actuación inmediata**

FICHA DE OBSERVACIÓN — Tarea N°3: Paletizado manual a altura >1,5 m

DATOS GENERALES			
Empresa:	DHL — Sede Poblado, Antioquia		
Tarea evaluada:	Paletizado manual a altura >1,5 m		
Turno:	Turno noche (22:00–6:00)	**Fecha:**	Abril 2026
SEGMENTOS OBSERVADOS — TRONCO, CUELLO Y PIERNAS			
Segmento	**Postura Observada**	**Condición Observada**	**Observación de Campo**
Cuello	Flexión >20°	**4**	Cabeza inclinada hacia la carga
Tronco	Flexión 60–90° con carga	**5**	Inclinación profunda desde camión a plataforma
Piernas	De pie, peso desigual y desplazamiento	**2**	Inestabilidad al cargar en superficies del camión
RESUMEN ZONA A:		**11**	Suma segmentos + modificadores de carga
SEGMENTOS OBSERVADOS — BRAZOS, ANTEBRAZOS Y MUÑECAS			

Segmento	Postura Observada	Condición Observada	Observación de Campo
Brazo	Flexión 45–90°, elevado y sin apoyo	**3**	Brazos extendidos para alcanzar carga
Antebrazo	Flexión <60° (fuera de rango óptimo)	**2**	Posición variable según distancia de la carga
Muñeca	Flexión/extensión >15° con desviación	**2**	Agarre forzado en cajas sin asas
RESUMEN ZONA B:		**7**	Suma segmentos + modificadores de agarre
CONDICIONES ADICIONALES Y NIVEL DE RIESGO			
Carga / Fuerza:	Carga 15–25 kg. +2	**Tipo de Agarre:**	Malo. +1
NIVEL DE RIESGO GTC 45:		**IV — Muy Alto**	**Nivel 4 — Muy Alto → Actuación inmediata**

Anexo B. Fichas de Observación de Miembros Superiores 3 Tareas

Tres fichas de observación focalizada en miembros superiores, aplicadas a las tareas con mayor demanda postural para brazos, antebrazos y muñecas. Cada ficha consigna las posiciones articulares observadas, la frecuencia de los movimientos y los tiempos de exposición sostenida, conforme a los criterios de identificación de peligros biomecánicos de la GTC 45.

FICHA DE OBSERVACIÓN MIEMBROS SUPERIORES Tarea N°1: Clasificación manual con torsión de tronco

DATOS GENERALES			
Empresa:	DHL — Sede Poblado, Antioquia		
Tarea evaluada:	Clasificación manual con torsión de tronco		
Turno:	Turno mañana		
SEGMENTOS OBSERVADOS — BRAZOS, ANTEBRAZOS Y MUÑECAS			
Segmento	**Posición Observada**	**Condición Observada**	**Observación**
Brazo	Flexión 45–90°	**3**	Evaluado con carga activa en ciclo repetitivo
Antebrazo	Flexión <60°	**2**	Fuera de rango 60–100° en varios ciclos
Muñeca	Flexión/extensión con desviación cubital	**2**	Giro y desviación cubital frecuente
RESUMEN ZONA A:		**7**	Suma segmentos + uso muscular y fuerza
SEGMENTOS OBSERVADOS — CUELLO, TRONCO Y PIERNAS			
Segmento	**Posición Observada**	**Condición Observada**	**Observación**
Cuello	Flexión >20°	**2**	Flexión >20° durante el ciclo de trabajo
Tronco	Flexión >20° con rotación	**3**	Inclinación y rotación simultánea

Piernas	De pie, peso distribuido	**1**	De pie, equilibrio aceptable
RESUMEN ZONA B:		**6**	Suma segmentos + uso muscular y fuerza
NIVEL DE RIESGO Y ACCIÓN RECOMENDADA			
NIVEL DE RIESGO GTC 45:		**III — Medio-Alto**	**Nivel 3 — Medio-Alto → Investigar y cambiar pronto**

FICHA DE OBSERVACIÓN MIEMBROS SUPERIORES — Tarea N°2: Empuje de pallets con brazos extendidos

DATOS GENERALES			
Empresa: **Tarea evaluada:**	DHL — Sede Poblado, Antioquia Empuje de pallets con brazos extendidos		
Turno:	Turno tarde		
SEGMENTOS OBSERVADOS — BRAZOS, ANTEBRAZOS Y MUÑECAS			
Segmento	**Posición Observada**	**Condición Observada**	**Observación**
Brazo	Flexión >90°, hombro elevado	**4**	Evaluado con carga activa en ciclo repetitivo
Antebrazo	Flexión 60–100°	**2**	Fuera de rango 60–100° en varios ciclos

Muñeca	Extensión >15°	**2**	Giro y desviación cubital frecuente
RESUMEN ZONA A:		**8**	Suma segmentos + uso muscular y fuerza
SEGMENTOS OBSERVADOS — CUELLO, TRONCO Y PIERNAS			
Segmento	**Posición Observada**	**Condición Observada**	**Observación**
Cuello	Flexión >20°	**2**	Flexión >20° durante el ciclo de trabajo
Tronco	Neutro con carga frontal	**2**	Inclinación y rotación simultánea
Piernas	De pie, buen equilibrio	**1**	De pie, equilibrio aceptable
RESUMEN ZONA B:		**5**	Suma segmentos + uso muscular y fuerza
NIVEL DE RIESGO Y ACCIÓN RECOMENDADA			
NIVEL DE RIESGO GTC 45:		**IV — Muy Alto**	**Nivel 4 — Muy Alto → Actuar de inmediato**

FICHA DE OBSERVACIÓN MIEMBROS SUPERIORES — Tarea N°3:

Etiquetado repetitivo (500 ciclos/turno)

DATOS GENERALES	
Empresa:	DHL — Sede Poblado, Antioquia

Tarea evaluada:	Etiquetado repetitivo (500 ciclos/turno)
Turno:	Turno tarde

SEGMENTOS OBSERVADOS — BRAZOS, ANTEBRAZOS Y MUÑECAS			
Segmento	**Posición Observada**	**Condición Observada**	**Observación**
Brazo	Flexión 20–45°	**2**	Evaluado con carga activa en ciclo repetitivo
Antebrazo	Flexión 60–100°	**2**	Fuera de rango 60–100° en varios ciclos
Muñeca	Flexión <15°, giro frecuente	**2**	Giro y desviación cubital frecuente
RESUMEN ZONA A:		**6**	Suma segmentos + uso muscular y fuerza

SEGMENTOS OBSERVADOS — CUELLO, TRONCO Y PIERNAS			
Segmento	**Posición Observada**	**Condición Observada**	**Observación**
Cuello	Flexión >20°	**2**	Flexión >20° durante el ciclo de trabajo
Tronco	Inclinación <20°	**2**	Inclinación y rotación simultánea
Piernas	De pie, equilibrio	**1**	De pie, equilibrio aceptable
RESUMEN ZONA B:		**5**	Suma segmentos + uso muscular y fuerza

NIVEL DE RIESGO Y ACCIÓN RECOMENDADA		
NIVEL DE RIESGO GTC 45:	**III — Medio-Alto**	**Nivel 3 — Medio-Alto → Investigar y cambiar pronto**

Anexo C. Lista de Chequeo de Condiciones Biomecánicas — Diligenciada

Lista de chequeo de 20 ítems aplicada durante la fase de observación directa. Cubre los factores de riesgo biomecánico prioritarios definidos por la GTC 45 y constituyó el insumo primario para la Matriz de Riesgos (Tabla 4).

Lista de Chequeo de Condiciones Biomecánicas — DHL Sede Poblado, Área de Materias Primas (abril 2026)

N°	Ítem de Verificación	SÍ	NO	N/A	Observación / Evidencia de Campo
1	¿Se manipulan cargas superiores a 25 kg de forma manual?	**X**			Frecuente en cargue/descargue. Hasta 40 kg sin ayuda mecánica.
2	¿Existen más de 4 ciclos de levantamiento por minuto?	**X**			3–5 ciclos/min en cargue de camiones. Supera límite GTC 45.
3	¿La altura de levantamiento es <50 cm (zona baja)?	**X**			Picking en estantería baja con tronco >60°.
4	¿La distancia horizontal del agarre supera 25 cm?	**X**			Hasta 60 cm al recoger carga del fondo del camión.
5	¿Se realizan rotaciones del tronco >30° durante la tarea?	**X**			Rotación constante en picking y paletizado.

N°	Ítem de Verificación	SÍ	NO	N/A	Observación / Evidencia de Campo
6	¿El trabajador mantiene posturas estáticas >1 min?	**X**			Clasificación en cinta baja: postura mantenida 2–3 min.
7	¿Existen ayudas mecánicas para transporte de cargas?		**X**		No hay bandas transportadoras ni carros eléctricos en el área.
8	¿Las superficies de trabajo son ajustables en altura?		**X**		Todas las mesas son fijas a 75 cm. Sin ajuste antropométrico.
9	¿Se realizan pausas activas durante el turno?		**X**		No existe programa formal de pausas activas en el área evaluada.
10	¿El piso es antideslizante y sin desniveles?			X	Área de andenes con desnivel en acceso al camión (≈15 cm).
11	¿Se dispone de iluminación adecuada?	**X**			Iluminación dentro del rango normativo (≥200 lux).
12	¿Hay EPP para protección lumbar disponible?		**X**		No hay fajas disponibles (nota: no sustituyen control de ingeniería).
13	¿El trabajador ha recibido capacitación en MMC?	**X**			Capacitación básica anual, no específica para las tareas de mayor riesgo biomecánico.
14	¿Se realizan rotaciones de personal para reducir exposición?		**X**		No existe sistema formal de rotación en materias primas.
15	¿Se han reportado dolencias musculo esqueléticas en el área?	**X**			60% del ausentismo corresponde a diagnósticos de DME.

N°	Ítem de Verificación	SÍ	NO	N/A	Observación / Evidencia de Campo
16	¿Existe programa de vigilancia epidemiológica osteomuscular?		**X**		No existe seguimiento periódico diferenciado para área operativa.
17	¿Los pallets se arman a alturas inferiores a 1,5 m?		**X**		Pallets superan 1,5 m regularmente en turno de alta demanda.
18	¿Hay carros de transporte con ruedas para traslado?	**X**			Existen carros manuales, pero sin asistencia eléctrica para rampas.
19	¿Los agarres de las cajas son adecuados (asas, ranuras)?		**X**		Mayoría de cajas sin asas. Agarre tipo pinza en superficies lisas.
20	¿Se cumplen los límites de peso de la Res? 2400 de 1979?		**X**		Incumplimiento documentado. Cargas >25 kg en 70% de ciclos.
RESUMEN:		**12 SÍ**	**7 NO**	**1 N/A**	**7 ítems NO = incumplimientos críticos que exigen control de ingeniería inmediato.**

Fuente: Elaboración propia. SÍ = condición presente; NO = condición ausente; N/A = no aplica.

Anexo D. Cronograma del Proyecto Capstone — Diagrama de Gantt

Distribución de las once fases del proyecto en las 16 semanas de desarrollo. Los hitos de entrega parcial están identificados con indicadores de color.

Diagrama de Gantt — Cronograma del Proyecto Capstone

N°	Actividad / Fase	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Revisión bibliográfica y marco teórico																
2	Diagnóstico en campo (obs. directa + audiovisual)																
3	Aplicación Lista de Chequeo y Observación de Campo																
4	Construcción Matriz GTC 45																
5	Análisis e interpretación de resultados																
6	Diseño de propuesta de automatización																
7	Análisis costo-beneficio																
8	Redacción del informe final																
9	Revisión y ajustes del documento																
10	Preparación de la presentación																
11	Sustentación ante jurado evaluador																

Fuente: Elaboración propia.

Anexo E. Análisis Costo-Beneficio de la Propuesta de Automatización

Estimación de los costos de implementación y los beneficios económicos proyectados. Los valores se presentan en rangos (mínimo–máximo) dado que dependen de negociación con proveedores y número de unidades requeridas.

Análisis Costo-Beneficio — Propuesta de Automatización DHL Sede Poblado (COP 2026)

Concepto	Valor Mínimo (COP)	Valor Máximo (COP)	Fuente / Supuesto
COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN (INVERSIÓN)			
Banda transportadora de rodillos (andenes)	$85.000.000	$120.000.000	Proveedor nacional
Sistema de clasificación automático (Sorter)	$200.000.000	$350.000.000	Importación
Mesas de trabajo ajustables en altura (10 unid.)	$15.000.000	$25.000.000	Proveedor nacional
Cobot de paletizado colaborativo	$180.000.000	$280.000.000	Importación
Capacitación y cambio cultural	$5.000.000	$10.000.000	Consultoría SST
INVERSIÓN TOTAL ESTIMADA — Mín: $485.000.000 / Máx: $785.000.000 COP			
BENEFICIOS ANUALES PROYECTADOS (AHORROS)			
Reducción incapacidades por DME (60→10%)	$80.000.000	$120.000.000	Cálculo por nómina

Concepto	Valor Mínimo (COP)	Valor Máximo (COP)	Fuente / Supuesto
Reducción prima ARL por menor siniestralidad	$15.000.000	$30.000.000	Res. 1607/2002
Eliminación costos reemplazo de personal	$20.000.000	$40.000.000	Costo reclutamiento
Incremento productividad (20–30% throughput)	$60.000.000	$100.000.000	Estimado operativo
AHORRO ANUAL TOTAL PROYECTADO — Mín: $175.000.000 / Máx: $290.000.000 COP			
PERIODO DE RECUPERACIÓN (PAYBACK) — Escenario base/optimista: 1,7–2,8 años			

Nota financiera. El ROI es un porcentaje y no un tiempo. Para el proyecto se mantiene el payback base de 1,7–2,8 años reportado en los escenarios de referencia; un escenario extremo de inversión máxima y ahorro mínimo podría ampliar el payback a aproximadamente 4,5 años. La validación final debe incorporar mantenimiento, costos operativos y flujos netos.

Fuente: Elaboración propia. Supuestos basados en cotizaciones de mercado 2025–2026, costos ARL Colombia y referencias de implementaciones de automatización en logística.

El ahorro anual proyectado ($175–$290 M COP) supera la amortización anual de la inversión en todos los escenarios, con un periodo de recuperación base estimado entre 1,7 y 2,8 años. La automatización elimina además el riesgo de contingencias legales por enfermedades laborales calificadas, consolidando la SST como pilar estratégico de DHL.